

**AUTOMATIZACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO:
MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN PLANTA MAC S.A.
ESTUDIO Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CAMPO
PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PTAI**

JOSE GERMAN GALVEZ JOJOA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA INGENIERIA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

**AUTOMATIZACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO:
MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN PLANTA MAC S.A.
ESTUDIO Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CAMPO
PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PTAI**

JOSE GERMAN GALVEZ JOJOA

Pasantia para Optar por el Título Ingeniero Mecatrónico

**Director Pasantia
Ing. HÉCTOR FABIO ROJAS
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA INGENIERIA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar por el título De ingeniero Mecatronico.

WILLIAM GUTIERREZ

Jurado

Santiago de Cali, 08 de Abril de 2208

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	9
RESUMEN	10
INTRODUCCION	11
1. TITULO	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. JUSTIFICACION	14
4. OBJETIVOS	15
4.1 OBJETIVOS GENERALES	15
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
5 MARCO TEORICO	16
6 DESCRIPCION DE PROCESO	18
6.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN	32
7. INFORMACION GENERAL DE LA PLANTA	34
7.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE PROCES	34
7.2 TIPO DE COMUNICACIÓN HACIA PLC	34
8. ARQUITECTURA DE CONTROL DEL AREA DE METALURGIA	35
9. ARQUITECTURA DE CONTROL PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES MAC S.A.	36
10. PARAMETROS PARA SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS	40
11. MEDICIONES EN PTAI	41

11.1 MEDIDORES DE NIVEL DE LIQUIDOS	41
11.2 Ph	43
11.3 PESO	44
11.4 MEDIDAS DE CAUDAL	45
12. INSTRUMENTOS SELECCIONADOS COMPRADOS	48
12.1 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL SELECCIONADOS COMPRADOS	56
13. CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	61
ANEXOS	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipo de medición y características para selección	40
Tabla 2. Medidores de nivel de liquidaos	42
Tabla 3. Valores de pH de varias soluciones	43
Tabla 4. Sistemas de medidas de peso	44
Tabla 5. Medidas de caudal	45
Tabla 6. Resistencia a la corrosión y abrasión de varios revestimientos	47
Tabla 7. Características de Instrumentos para cotización con proveedores	48
Tabla 8. Letras para identificación de instrumentos	49
Tabla 9. Switch de nivel	50
Tabla 10. Transmisor de nivel	52
Tabla 11. Celda de carga	53
Tabla 12. Peachimetro	54
Tabla 13. Transmisor de flujo (FT)	55
Tabla 14. Válvula electroneumatica (N/C)	57
Tabla 15. Señales de alarma en el proceso	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama básico del proceso	17
Figura 2. (1) Tanque Sedimentador Horizontal	19
Figura 3. (2) Tanque Sedimentador Vertical	20
Figura 4. 3) Laguna de Agua Acida	21
Figura 5. (4) (5) Tanques Reactores	22
Figura 6. (6) (7) (8) Tanques Neutralizantes	23
Figura 7. 19) (18) Tanque polímetros y Tanque cloruro ferrico	24
Figura 8. (9) Tanque de floculación y Tanque de Homogenización	25
Figura 9. 11) Tanque de agua neutralizada y clarificada	26
Figura 10. (12) Filtro KDF	27
Figura 11. (10) Tanque sedimentador de lamelas	28
Figura 12. 13) Tanque de lodos	29
Figura 13. (15) Laguna de agua tratada	30
Figura 14. (16) filtro multimedia, tanque de agua filtrada	31
Figura 15. Planta de tratamiento de aguas industriales	33
Figura 16. Arquitectura de control del área de Metalurgia Planta MAC S.A.	35
Figura 17. Sistema de control en CCM (PLC)	36
Figura 18. HMI MP 370 TOUCH SIEMENS	37
Figura 19. CCM PTAI	38
Figura 20. Arquitectura de control PTAI	39

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Layout planta de tratamiento de aguas Industriales PTAI MAC S.A.	62
Anexo B. Diagrama de flujo planta de tratamiento de aguas industriales PTAI MAC S.A.	63
Anexo C. Layout METALURGIA	64

GLOSARIO

CCM: Centro de control de motores.

EFLUENTE: Descarga de electrolito en el proceso.

ELECTROLITO: Sustancia compuesta ácido por sulfúrico disuelto en agua.

FLOCULACION: Agregación de partículas sólidas en una dispersión coloidal, en general por la adición de algún agente.

HMI: Interfaz Maquina Humano (HMI, por sus siglas en ingles).

PLC: Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés),

PTAI: Planta de tratamiento de Aguas Industriales.

RESUMEN

Este proyecto de grado tiene como objetivo participar y acompañar al grupo de Ingenieros del área de Proyectos y Manufactura en el proceso de Automatización de la nueva planta de baterías MAC.

Particularmente en el estudio y selección de la Instrumentación necesaria para la automatización de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales PTAI, para lo cual se realizó un estudio del diseño inicial del tratamiento este tipo de aguas, y un estudio del proceso de reciclaje de la planta como un conjunto, este conjunto de sistemas conforman el área de metalurgia de la planta, seguidamente se estudio y analizó el medio en que los instrumentos trabajaran, con esto se busca cumplir con las normatividades ambientales para cumplir con el propósito de la empresa de no vertimiento de aguas industriales a las redes de alcantarillado municipales y reutilizar el agua tratada en procesos o necesidades de la empresa dentro de una estrategia de disminución de costos.

INTRODUCCIÓN

La evolución de las tecnologías permite a las empresas ser más eficientes y productivas, la competitividad implica una constante en el cambio o adecuación de sistemas modernos, esta gestión se traduce en la necesidad de automatizar los procesos, esto consiste en la incorporación de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos tales como PLC's, instrumentos, sistemas de comunicación, etc., que aseguren su control y buen comportamiento dentro de los parámetros establecidos por quienes conciben el proceso.

La correcta evaluación y selección de la instrumentación necesaria para la automatización de la PTAI (Planta de Tratamiento de Aguas Industriales), como un subsistema del área de Metalurgia de la planta de Baterías MAC, es de vital importancia para cumplir con la filosofía de no vertimiento de aguas industriales al sistema de alcantarillado de la ciudad, contribuyendo así con la preservación y conservación del medio ambiente.

El agua a tratar en este proceso es un agua con un porcentaje de ácido sulfúrico resultado de la trituración de baterías recicladas, por tanto es necesario seleccionar los materiales apropiados de los instrumentos para que soporten la abrasión causada por el neutralizante que es cal disuelta en agua y la corrosión del agua acidulada.

Otro aspecto esencial de una correcta selección de instrumentos es por la comunicación con el PLC y toda la ingeniería implicada en esto, como sistema de tierras, alimentación de instrumentos, trayectorias para racks de tubería, entradas y salidas en CCM, diseño de mímicos para panel de control entre otros.

**1 AUTOMATIZACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO:
MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN PLANTA MAC S.A.
ESTUDIO Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE CAMPO PARA LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PTAI**

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La prioridad de la planta MAC S.A. es ofrecer un producto de máxima calidad, y para mantener este liderazgo en fabricación de baterías plomo ácido, esta implementando una nueva planta de producción, la cual en la primera etapa mejorara notablemente el área de Metalurgia, donde la función principal de esta área es obtener la materia prima para la fabricación de nuevas baterías, esta materia prima es plomo y plástico.

El área de Metalurgia tiene 6 subprocesos: *Triturado*, donde se destruyen las baterías recicladas y al final de este proceso se obtiene óxido de plomo y plástico. *Horno*, donde se hace la fundición de plomo. *Filtro Horno*, es el sistema que absorbe los gases, resultado del proceso de Horno y su función es recolectar los polvos de plomo y filtrarlos para que no haya descarga al medio ambiente. *Refino*, es donde se hace la preparación de las diferentes aleaciones para la fabricación de rejillas de plomo, las cuales son el principal componente de una batería.

Filtro Refino cumple la misma función de filtro Horno, sino que esta vez recolecta los polvos de plomo producidos en el proceso llamado Refino. Finalmente esta *PTAI* que es la Planta de Tratamiento de aguas Industriales, cuya función es tratar el agua acidulada, resultado de proceso de trituración.

Es por esto que MAC S.A. quiere un sistema automatizado para tener muy buen control de sus procesos, la PTAI ofrece un ambiente de trabajo agresivo por las sustancias que maneja, de aquí la necesidad de tener especial cuidado en los sistemas para su automatización, y garantizar que no se contamine el medio ambiente, la función principal de PTAI es la de neutralizar el agua ácida para que sea reutilizada en diferentes tareas.

Para el tratamiento de este tipo de aguas contaminadas se necesita control de niveles, caudales y niveles de PH, permitiendo con esto la operación de agitadores, bombas, y válvulas dentro de una estrategia de control para ser implementada en un PLC, lo que implica también establecer un tipo de comunicación entre el sistema de control y los instrumentos de campo.

3 JUSTIFICACION

En la actualidad la normatividad ambiental obliga a las empresas a controlar niveles de cualquier tipo de contaminación, protegiendo así no solo el medio ambiente sino disminuyendo los riesgos a seres humanos.

Las empresas productoras de baterías tipo plomo ácido generan con esto un riesgo cuando estas son desechadas, así mismo MAC S.A. quien produce este tipo de baterías, también las recicla para reutilizar tanto el plomo como el plástico, este proceso se conoce como trituración de baterías, resultado de este es la generación de aguas contaminadas con ácido sulfúrico y plomo, siendo este considerado como sustancia de interés Sanitario por el Ministerio de Salud Publica en el decreto numero 1594 de 1984, por tanto es necesario garantizar un proceso confiable de tratamiento esta solución.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVOS GENERALES

Estudio del proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales para la selección de la Instrumentación necesaria para su automatización.

Planear, coordinar y supervisar el montaje y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocimiento y documentación del proceso.
- Conocimiento y documentación de medio el que van a operar los sistemas.
- Conocimiento y documentación de los tipos de Instrumentación.
- Conocimiento y documentación de materiales aptos para instrumentos en medios especiales (corrosivos y/o abrasivos).
- Diseño de diagrama básico de proceso para control.
- Conocimiento y documentación del tipo de sistemas para el control del proceso.
- Proceso de compra de Instrumentos.
- Acompañamiento en el desarrollo de la Ingeniería implicada en la automatización de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales.

5 MARCO TEORICO

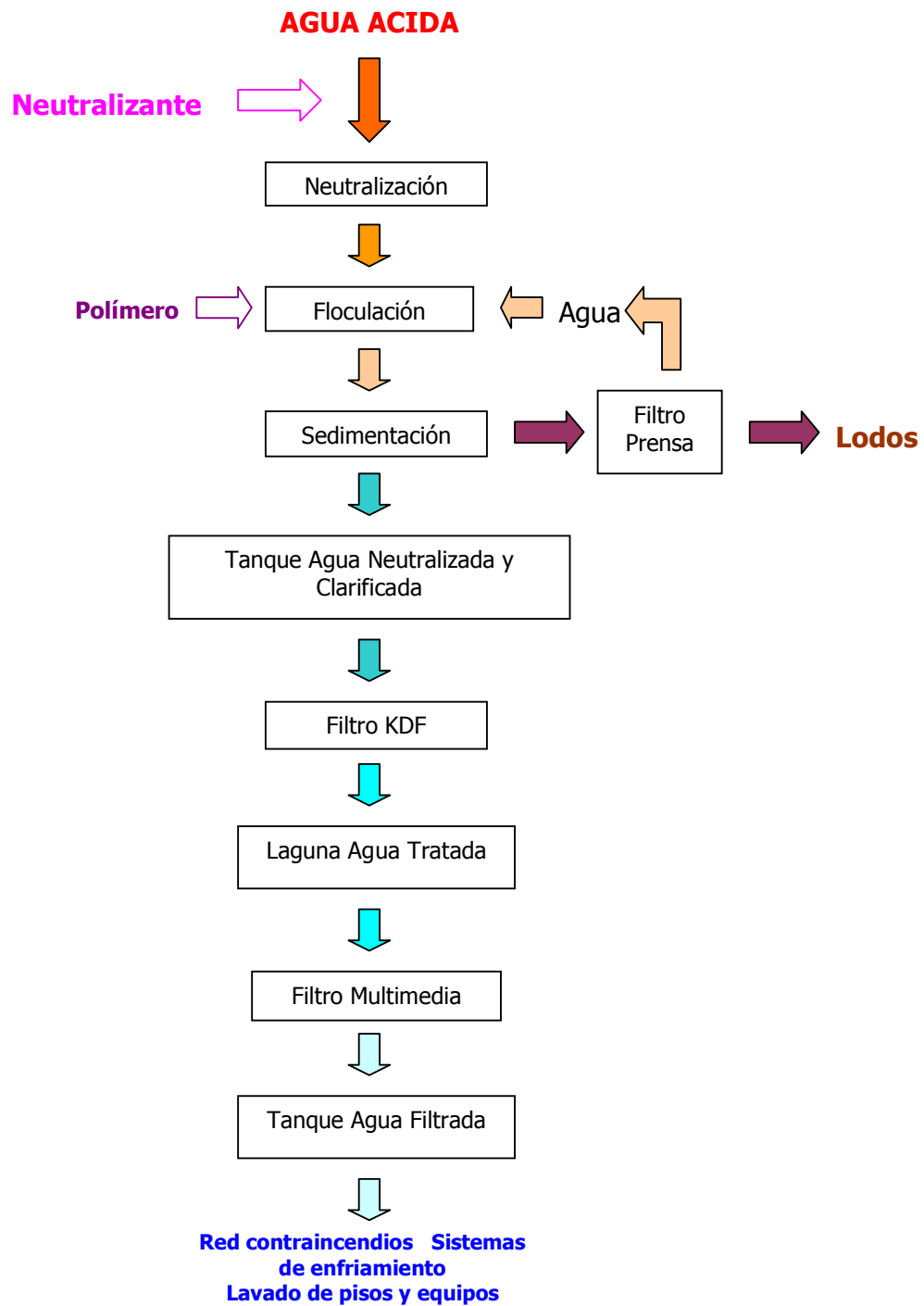
La prioridad de la planta MAC S.A. es ofrecer a un producto de máxima calidad, y para mantener este liderazgo en fabricación de baterías plomo ácido, esta implementando una nueva planta de producción la cual en la primera etapa mejorara notablemente el área de Metalurgia, donde la función principal de esta área es obtener la materia prima para la fabricación de nuevas baterías, esta materia prima es plomo y plástico.

Metalurgia tiene 6 subprocesos: *Triturado*, donde se destruyen las baterías recicladas y al final de este proceso se obtiene óxido de plomo y plástico. *Horno*, donde se hace la fundición de plomo. *Filtro Horno*, es el sistema que absorbe los gases, resultado del proceso de Horno y su función es recolectar los polvos de plomo y filtrarlos para que no haya descarga al medio ambiente. *Refino*, es donde se hace la preparación de las diferentes aleaciones para la fabricación de rejillas de plomo, las cuales son el principal componente de una batería. *Filtro Refino* cumple la misma función de filtro Horno, sino que esta vez recolecta los polvos de plomo producidos en el proceso llamado Refino. Finalmente esta *PTAI* que es la Planta de Tratamiento de aguas Industriales, cuya función es tratar el agua acidulada, resultado de proceso de trituración.

Es por esto que MAC S.A. quiere un sistema automatizado para tener muy buen control de sus procesos, la PTAI ofrece un ambiente de trabajo agresivo por las sustancias que maneja, de aquí la necesidad de tener especial cuidado en los sistemas para su automatización, y garantizar que no se contamine el medio ambiente, la función principal de PTAI es la de neutralizar el agua ácida para que sea reutilizada en diferentes tareas.

Para el tratamiento de este tipo de aguas contaminadas se necesita control de niveles, caudales y niveles de PH, permitiendo con esto la operación de agitadores, bombas, y válvulas dentro de una estrategia de control para ser implementada en un PLC, lo que implica también establecer un tipo de comunicación entre el sistema de control y los instrumentos de campo.

Figura 1. Diagrama Básico de Proceso



6 DESCRIPCION DEL PROCESO

Una batería tipo plomo ácido se recicla para que por medio de un proceso de triturado se separe el plomo y el plástico para que se reutilicen en la fabricación de nuevas baterías, el proceso de triturado antes mencionado genera una descarga de agua acidulada, la cual por efecto de la gravedad se deposita en un tanque de sedimentación, el cual esta construido en concreto, impermeabilizado, protegido con una membrana de polipropileno en sus partes externas y con revestimiento epoxico antiácido en sus partes internas.

La solución es sometida a un proceso de sedimentación en cinco vasos tanques comunicantes por un periodo de 18 horas.

En esta etapa, la solución es clarificada, bajando los sólidos en suspensión para 0.6% en peso y 30mg/litro de plomo.

Nota: En las figuras de la descripción del proceso, se referencia un numero entre paréntesis que corresponde al numero asignado en el Diagrama de Flujo (Anexo B)

Figura 2. (1) Tanque Sedimentador Horizontal



Figura 3. (2) Tanque Sedimentador Vertical



La solución es descargada por gravedad en una laguna de solución ácida, y se almacena durante 7.5 días para el proceso de sedimentación de refino.

Figura 4. (3) Laguna de Agua Acida



La solución en esta fase con bajo contenido de sólidos en suspensión es bombeada hacia un tanque reactor (Tanque No 1) para el proceso de reacción primaria moderada, aquí la solución ácida es homogenizada con adición de cal diluida, llevando el PH de la solución a un rango entre 4.5_7.5.

La adición de cal diluida se hace en forma automática y monitoreada por un sensor de acidez instalado en el interior del tanque, el cual debe ser preajustado para sensar pH entre 4.5 y 7.5, controlando a través del sistema de control la apertura y cierre de la válvula de adición de cal diluido.

En este proceso, el cual es un proceso de flujo continuo la solución es transferida a través de vasos comunicantes a un segundo tanque reactor (Tanque No 2), donde se adiciona nuevamente cal diluida con el fin de elevar el nivel de pH a un rango de 7.5 a 9.0, pasando de esta forma de solución ácida a alcalina.

Figura 5. (4) (5) Tanques Reactores



El proceso en operación de flujo continuo garantiza una operación de baja temperatura y eficiente neutralización.

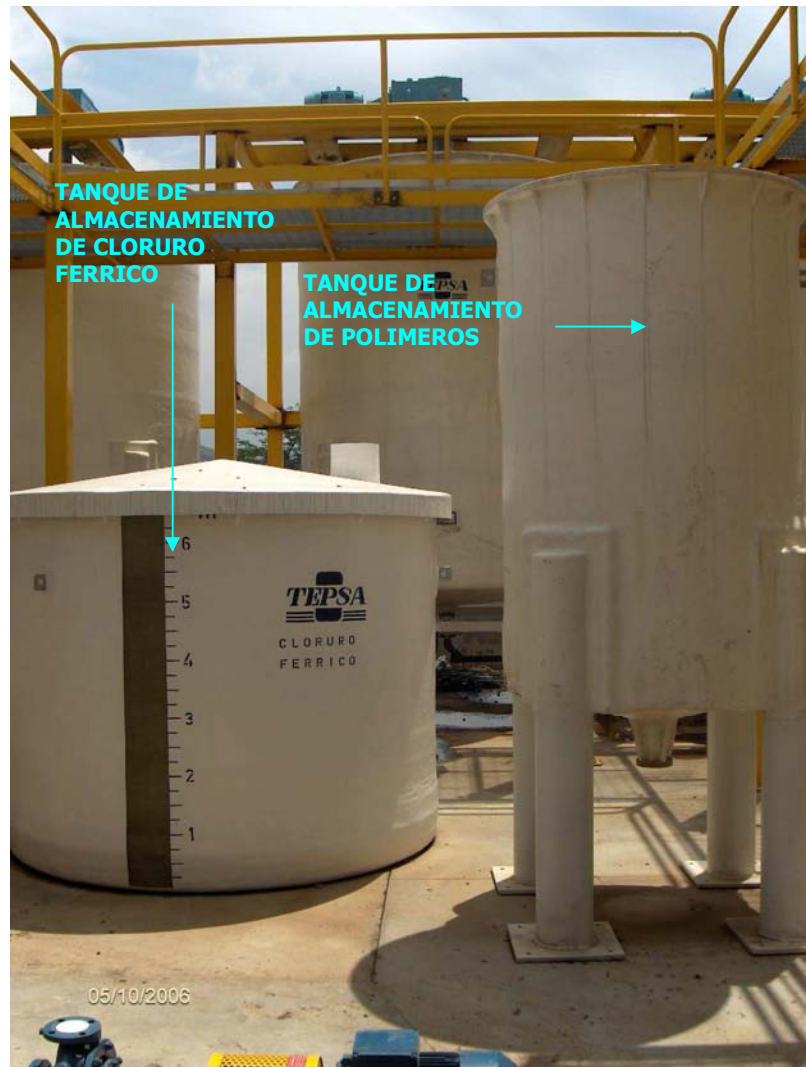
Para el proceso de preparación de neutralizante (cal + agua), se dispondrá de tres tanques, uno de los cuales tendrá celdas de carga en sus apoyos comunicadas al PLC para realizar la mezcla de cal y agua, estos tanques deben ser equipados con agitadores centrífugos verticales para mantener la solución neutralizante en homogenización uniforme, simultáneamente un sistema de bombeo de alto volumen que bombee el neutralizante por una tubería en circuito cerrado con puntos de descarga en los tanques reactores No 1 y No 2.

Figura 6. (6) (7) (8) Tanques Neutralizantes



En el tanque reactor No 1 también es adicionada una solución de cloruro férrico de 0.1 gramos por litro para activar en las próximas etapas del proceso el efecto de floculación de sólidos.

Figura 7. (19) (18) Tanque Polímeros y Tanque Cloruro Ferrico



La solución ya alcalina se transfiere a un tanque de floculación donde con efecto de agitación intensiva es adicionada una solución de polímero aniónico y se efectuara la transformación de floculos de material sólido contenido en la solución de forma simultanea, esta es transferida para un tanque de homogenización de solución y floculos.

Figura 8. (9) Tanque de Floculación y Tanque de Homogenización



Posteriormente se descarga la solución floculada por un vaso de alto volumen sedimentador, donde los sólidos son separados del agua, ahora neutralizada y clarificada, esta agua se descargara en un tanque para almacenarla.

Figura 9. (11) Tanque de Agua Neutralizada y Clarificada



Figura 10. (12) Filtro KDF



Esta agua alcalina se descargara y almacenara en un tanque con sistema de filtraje en intercambio iónico en un filtro llamado KDF, con lecho bimetallito patentado y fabricado en USA para proceso de retención de trazas de metales pesados.

En el proceso de sedimentación efectuado por el sedimentador con la solución alcalina floculada, los sólidos contenidos en forma de lodos son precipitados por la parte inferior del vaso sedimentador de lamelas y después transferidos por vasos comunicantes a un tanque de almacenamiento de lodos, este tendrá que ser equipado con un sistema de agitación intensiva para que este lodo se mantenga en forma homogénea y suficientemente fluido para ser bombeado al filtro prensa.

Figura 11. (10) Tanque sedimentador de lamelas



Figura 12. (13) Tanque de Lodos



El lodo generado en el proceso de neutralización de la solución, después de ser procesado en un filtro prensa, genera una torta de sulfato de calcio, el cual es caracterizado como material sólido no peligroso. Esta torta deberá almacenarse para efectos de análisis físico-químico, certificándose como material no peligroso para descarga en el depósito de desechos sanitarios municipales.

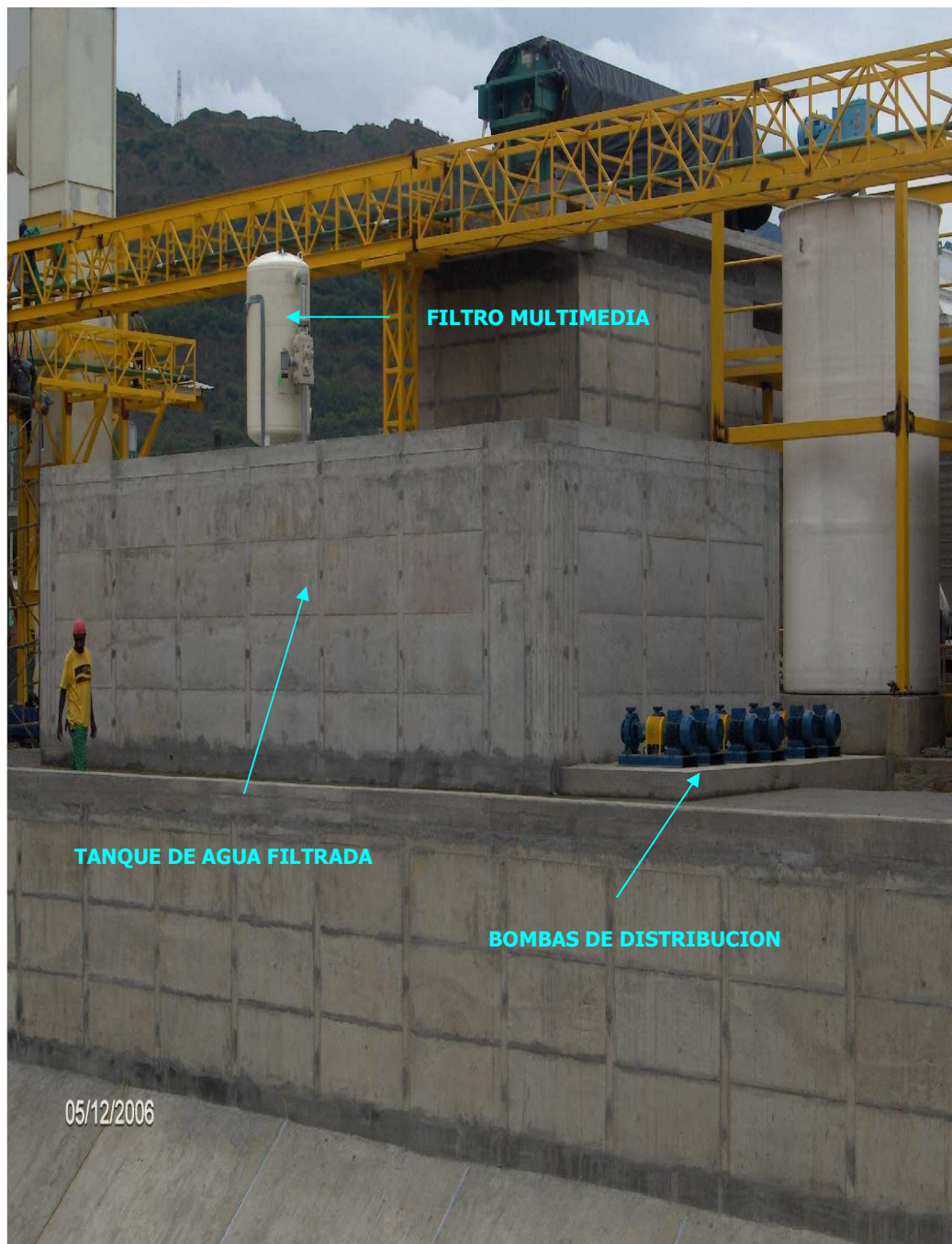
El agua, después de ser procesada por eliminación de trazas de metales pesados, se deposita en una laguna para almacenarla, posteriormente se somete a una última etapa de proceso para ser bombeada a un filtro multilecho (grava silica y carbón activado).

En esta etapa de proceso de filtraje, el agua es depositada en un tanque donde ésta está totalmente tratada y se almacena para análisis físico-químico, certificación y uso industrial (lavado y sistemas de enfriamiento).

Figura 13. (15) Laguna de Agua Tratada



Figura 14. (16) Filtro Multimedia, (17) Tanque de Agua Filtrada



6.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE NEUTRALIZACION

Para control del proceso y operación automática de los reactores 1 y 2 se instala 2 sensores de pH, los cuales a través de un PLC controlan la adición necesaria de neutralizante (Cal disuelta en agua), para evitar una reacción violenta, la neutralización se realiza en 2 fases:

- 1. La solución ácida es descargada en el tanque reactor No 1, cuando el sensor de pH envía la señal de acidez alta para el PLC, este energiza una válvula solenoide, la cual actúa sobre una válvula de diafragma, permitiendo la entrada del neutralizante, iniciando así el proceso de neutralización, hasta alcanzar un pH de 4.5, en ese momento la válvula de diafragma se debe cerrar.
- 2. Enseguida la solución en flujo continuo pasa por el tanque reactor No 2, en el cual esta instalado un segundo sensor de pH, este abre una válvula de diafragma a través de una válvula solenoide, permitiendo el paso de neutralizante, la válvula de diafragma cierra cuando el sensor de pH detecta una solución alcalina de pH entre 7.5 y 8, este proceso es continuo y automático, con un volumen de procesamiento de flujo de 3 lts/seg.

Simultáneamente en el reactor 1 una bomba dosificadora de cloruro férrico hace una adición a este tanque, y una bomba dosificadora de polímeros hace una adición en un tanque llamado tanque Flash, tanto el cloruro férrico como el polímero tienen un sistema de adición de volumen constante, estos elementos se adicionan para hacer un proceso de floculación.

Figura 15. Planta de Tratamiento de Aguas Industriales



7 INFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA

Propietario:	MAC S.A.	
Localización:	Vía Cali-Yumbo	
Altura sobre el Nivel del Mar:		971m
Zona de Riesgo Sísmico;		Alta
Presión Barométrica		0.88 bar
Temperatura Ambiente:	<i>Mínima:</i>	17 °C
	<i>Media:</i>	27.5 °C
	<i>Máxima:</i>	34 °C
Humedad relativa:	<i>Mínima:</i>	75%
	<i>Media:</i>	78%
	<i>Máxima:</i>	87%

7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PROCESO

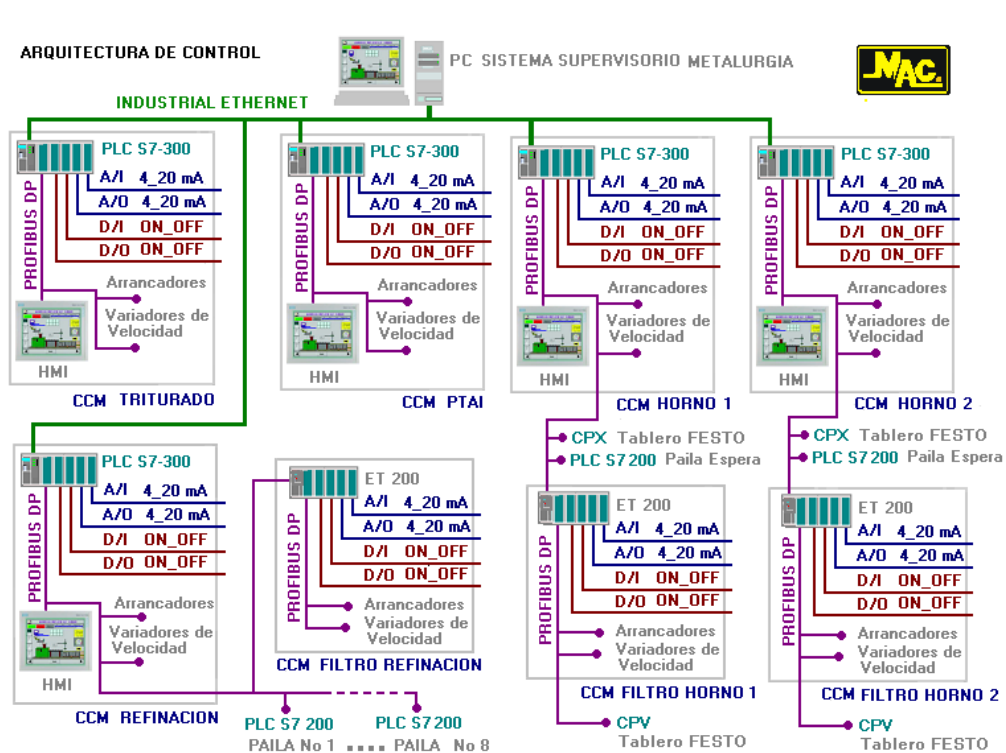
Presión máxima de proceso:	90psi
Caudal promedio	3lt/seg
Caudal máximo:	8lt/seg
Efluente:	Agua + ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) al 6%

7.2 TIPO DE COMUNICACIÓN HACIA PLC

Las señales de campo que llegan al controlador son de tipo digitales y análogas (4_20 mA).

8 ARQUITECTURA DE CONTROL DEL AREA DE METALURGIA PLANTA MAC S.A.

Figura 16. Arquitectura de Control del área de Metalurgia Planta MAC S.A.



El área de metalurgia contará con un sistema supervisorio de donde se observará cada proceso sin hacer control a los procesos, el software del sistema es WINCC V6.

La comunicación desde los PLC's hacia el sistema supervisorio se hace por Industrial Ethernet, y aguas abajo del PLC's por PROFIBUS DP.

9 ARQUITECTURA DE CONTROL PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES MAC S.A.

El sistema de control de la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales PTAI esta constituido por un controlador S7 300 marca SIEMENS, el cual se comunica al sistema supervisorio por medio de Ethernet Industrial y por Profibus DP hacia los sistemas de actuadores como arrancadores directos y variadores de velocidad, además de un panel de control (HMI), el cual se programa por PROTOOL V5, las señales de campo se recogen en módulos de entrada tanto análogos como digitales, y se cuenta con módulos de salidas para las señales de control.

Las señales para control se recogen en campo por instrumentos que entregan tanto señales continuas de 4_20mA, como señales puntuales On_OFF).

Figura 17. Sistema de control en CCM, PLC



Figura 18. HMI MP 370 TOUCH SIEMENS

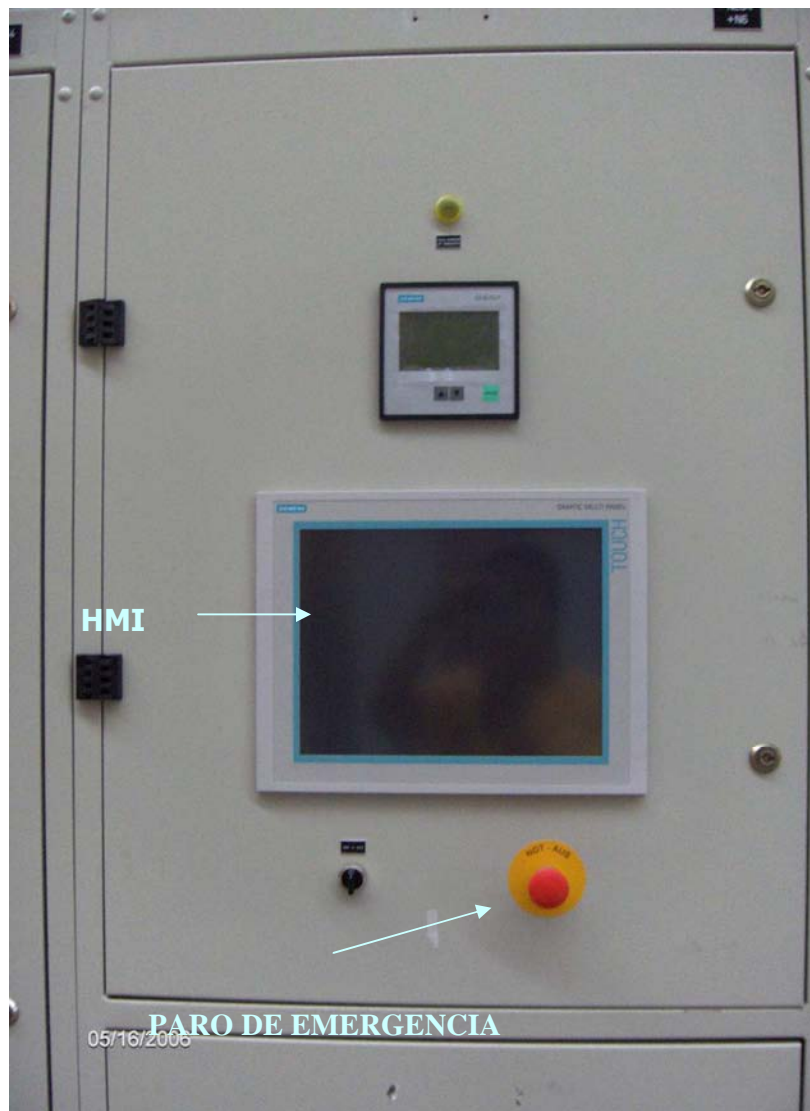
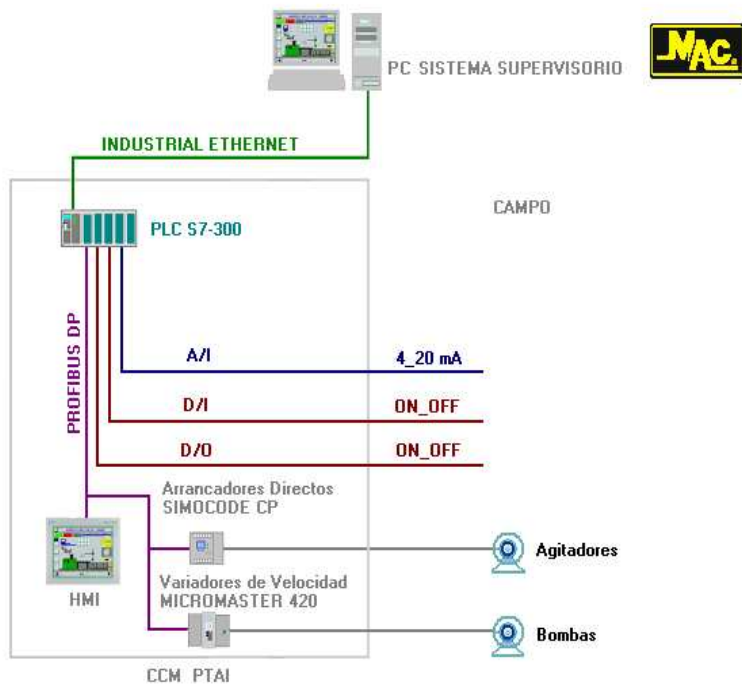


Figura 19. CCM PTAI



Figura 20. Arquitectura de Control PTAI



10 PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

El medio en que deben operar los instrumentos y elementos finales de control como electrovalvulas es un medio corrosivo a causa del ácido sulfúrico y un medio abrasivo causado por la cal usada como neutralizante.

Tabla 1. Tipo de medición y Características para Selección

Medición	Señal	Rango	Unidad	Temperatura de Operación	Medio en el que opera	Ubicación
pH	4_20mA	1-10	pH	Ambiente	Agua + H_2SO_4 al 6%	-Tanque Reactor No1 y No2 -Tanque Agua Neutralizada y Clarificada
Nivel (Switch)	ON/OFF	No Aplica	No Aplica	Ambiente	Agua + H_2SO_4 al 6%	Tanques: -Sedimentador Horizontal -De Agua Neutralizada y Clarificada -De Lodos -De Agua Filtrada
Nivel	4_20mA	10	m	Ambiente	Agua Tratada	Laguna de Agua Tratada
Flujo	4_20mA	802	PSI lt/seg	Ambiente	Agua + H_2SO_4 al 6%	Salida de Laguna de Agua Acida
Peso	4_20mA	30000	Kg	Ambiente	Agua + H_2SO_4 al 6% (Salpicadura)	Tanque de Preparación de Neutralizante

11 MEDICIONES EN PTAI

11.1. MEDIDORES DE NIVEL DE LIQUIDOS

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Instrumentos de medida directa:

- Sonda
- Cinta y plomada
- Nivel de cristal
- Instrumentos de flotador

Instrumentos que miden nivel aprovechando la presión Hidrostática:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

Instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido:

- Medidor resistivo
- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación
- Medidor láser

Tabla 2. Medidores de Nivel de líquidos.

Instrumento	Campo de medida	Presión % escala	Pres. Max bar	Temp. Max. Fluido	Desventaja	Ventaja
Sonda	Limit.	0.5mm	Atm.	60	Manual, sin olas, tanques abiertos	Barato, preciso
Cristal	>>	>>	150	200	Sin transmisión	Seguro, preciso
Flotador	0-10m	1-2%	400	250	Posible agarrotamiento	Simple, indep. a naturaleza líquida
Manometrico	Alt Tanque	1%	Atm.	60	Tanques abiertos, fluidos limpios	Barato
Membrana	0-25m	1%	>>	60	Tanques abiertos	Barato
Burbujeo	Alt Tanque	1%	400	200	Mantenimiento, contaminación líquido	Barato, versátil
Presión diferencial	0.3m	0.15% a 0.5%	150	200	Posible agarrotamiento	Interfase líquido
Desplazamiento	0-25m	0.5%	100	170	Expuesto a corrosión	Fácil limpieza, robusto, interfases
Conductivo	Limitado	—	80	200	Líquido conductor	Versátil
Capacitivo	0-6m	1%	80-250	200-400	Recubrimiento electrodo	Resistencia, corrosión
Ultrasónico	0.30m	1%	400	200	Sensible a densidad	Todo tipo de tanques y líquidos
Radar	0-30m	2.5mm	—	—	Sensible a la constante dieléctrica	>>y líquidos con espuma
Radiación	0-25m	0.5-2%	—	150	Fuente radiactiva	>>y sin contacto líquido
Láser	0-2m	0.5-2%	—	1500	Láser	>>y sin contacto líquido

Fuente: CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. Madrid: Alfaomega, 1997. p. 214.

11.2. PH

El pH es una medida de Acidez o alcalinidad del agua, su expresión viene dada por el logaritmo de la inversa de la concentración del ion H expresada en moles por litro

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Por ejemplo el agua pura neutra tiene concentración de ion hidrogeno de 10^{-7} moles por litro, luego:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[10^{-7}]} = 7$$

Tabla 3. Valores de pH de varias soluciones.

	pH	Concentración H+ Mols/lit		
Acido	0	1		0
	1	0.1		1
	2	0.01	Jugo limón	2
	3	0.001		3
	4	0.0001	Cerveza	4
	5	0.00001		5
	6	0.000001	Leche	6
Neutro	7	0.0000001	Agua pura	7
Básico	8	0.00000001		8
	9	0.000000001		9
	10	0.00000000001		10
	11	0.0000000000001		11
	12	0.000000000000001		12
	13	0.0000000000000001		13
	14	0.000000000000000001	Soda cáustica 4%	14

Fuente: CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. Madrid: Alfaomega, 1997. p. 352.

11.3. PESO

El peso de un cuerpo es la fuerza con la que es atraído por la tierra. La relación entre la masa del cuerpo, es decir, la cantidad de materia que contiene, y su peso viene dado por la expresión:

$$P = mg$$

donde P = peso

m = masa

g = aceleración debida a la gravedad

Como la masa de un cuerpo es constante y la aceleración de la gravedad varia con el lugar (es de 9.78 en el ecuador y 9.83 en los polos) y también con la altura, es obvio que el peso del cuerpo variara según el lugar de la Tierra y la altura a que este sobre el nivel del mar.

Tabla 4. Sistemas de medidas de peso.

Sistema	Capacidad	Precisión %	Ventajas	Desventajas
Balanza	Gramos a 300Kg	0.002 - 0.05	Simple, precisa, barata	Lenta, corrosión local
Bascula	Gramos a toneladas	0.1	Simple, precisa, barata	Lenta, corrosión local
Galga extensometrica	20 kg – 400 ton.	0.02 – 0.2	Instalación simple, indicación a distancia, protegida contra corrosión	Caras, compensación de temperatura
Célula hidráulica	40 kg – 90 ton.	0.2	Instalación simple, resistente a vibración, admite 400% sobrecarga, a prueba explosión, Indicación a distancia	Caras, transmisor electrónico para sumar señales de varias células, afectada por la temperatura, calibración frecuente
Célula neumática	10 kg – 10 ton.	0.2	Se adaptan bien a control neumático, indicación a distancia	Aire instrumentos, afectada por la temperatura, calibración frecuente

Fuente: CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. Madrid: Alfaomega, 1997. p.307.

11.4. MEDIDAS DE CAUDAL

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o masico deseado. Entre los transductores mas importantes figuran:

Tabla 5. Medidas de caudal

Medidores Volumétricos	Sistema	Elemento		Transmisor
	Presión diferencial	Placa-orificio	Conectados a tubo U o a elemento de fuelle o de diafragma	Equilibrio de fuerzas silicio difundido
		Tobera		
		Tubo venturi		
		Tubo pitot		
		Tubo anubar		
	Area variable	Rotametro		Equilibrio de movimientos Potenciometrico Puente de impedancias
	Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos		Potenciometrico Piezoeléctrico
		Turbina		
		Sondas ultrasónicas		
	Fuerza	Placa de impacto		Equilibrio de fuerzas Galgas extensiométricas
	Tensión inducida	Medidor magnético		Convertidor potenciometrico
Medidores volumétricos	Desplazamiento positivo	Disco giratorio		Generador tacometrico o transductor de impulsos
		Pistón oscilante		

		Pistón alternativo	
		Medidor rotativo (cicloidal, birrotor, oval)	
		Medidor paredes deformables	
	Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia, condensador ultrasonidos	Transductor de resistencia
	Oscilante	Válvula oscilante	Transductor de impulsos
Medidores de caudal masa	Compensación de presión y Temp. En medidores volumétricos		
	Térmico	Diferencia temperaturas en dos sondas de resistencia	Puente de Wheatstone
	Momento	Medidor axial	Convertidor de par
		Medidor axial de doble turbina	
	Fuerza de Coriolis	Tubo en vibración	

Fuente: CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. Madrid: Alfaomega, 1997. p.92.

Tabla 6. Resistencia a la Corrosión y Abrasión de varios revestimientos

Revestimiento	Resistencia a la Abrasión		Resistencia a la Corrosión	bar	Temp. Máxima °C	Aplicaciones
	Media	Severa				
Teflón	Buena	Pobre	Excelente	100-210	300	Acidos, bases, jarabes, licores, cerveza, etc, No recomendado en CIH y FH
Poliuretano	Excelente	Excelente	Media (Vulnerable)	100-210	150	Fangos, Aguas Negras
Goma	Excelente	Buena	Media (Vulnerable)	100-210	180	Fangos medios, Aguas
Neopreno	Excelente	Buena	Media (Vulnerable)	100-210	170	Agua natural y tratada, Agua caliente y fría
Vidrio	Pobre	Pobre	Excelente			Acidos, bases, productos alimenticios
Fibra de Vidrio	Media	Pobre	Excelente	50-150	250	Pasta de papel, aguas negras, CIH

Fuente: CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. Madrid: Alfaomega, 1997. p.168.

12 Instrumentos seleccionados comprados

Para la compra de instrumentos se procedió de la siguiente manera:

Se paso a diferentes proveedores una tabla con especificaciones de los instrumentos a utilizar en la planta, para que realizaran una cotización.

Tabla 7. Características de instrumentos para cotización con proveedores.

Item	Tipo sensor	Salida	Alimentación	Medio de trabajo	Rango trabajo	Cant.
1	Switch de Nivel	A rele	24 VDC o 110VCA	Agua ácida (H ₂ SO ₄ al 6%)		9
2	Nivel	4_20 mA	24 VDC o 110VCA	Agua		1
3	pH	4_20 mA	24 VDC o 110VCA	Agua ácida (H ₂ SO ₄ al 6%)	3 _ 9 pH	3
4	Medidor de caudal	4_20 mA	24 VDC o 110VCA	Agua ácida (H ₂ SO ₄ al 6%)	0_ 10 lt/sg	1
5	Medidor de peso	4_20 mA	24 VDC o 110VCA	Salpicaduras Agua ácida (H ₂ SO ₄ al 6%) Cal disuelta agua	0_20 Ton Tanque con 4 apoyos	1
6	Válvula tipo diafragma, 2"Φ. N/C, accionamiento neumático			Cal disuelta en agua	Max. 120 psi Fluido Max. 130 psi Aire	2
7	Válvula tipo diafragma, 2"Φ. N/A, accionamiento neumático			Cal disuelta en agua	Max. 120 psi Fluido Max. 130 psi Aire	3
NOTA: Favor especificar tiempo de entrega y forma de pago.						

Una vez enviado cuadro con requerimientos a los proveedores se hicieron reuniones para aclarar dudas y revisar tanto estrategia de control como diagramas de flujo y así escuchar propuestas y/o soluciones que puedan ser mas viables en cuanto a desempeño y costos.

Se reviso y discutió por cada propuesta los siguientes puntos:

- Tipo de señal de salida: Cumple o no cumple
- Material : Apto o No apto
- Rango: (Se tuvo muy en cuenta que los instrumentos ofrecidos no estuvieran tan próximos a los rangos de trabajo)

- Costo: (No fue decisivo para la selección)
- Tiempo de entrega (Este es un factor muy critico en la decisión de compra del instrumento, ya que puede alterar el cronograma de puesta en marcha del proyecto)


Código de identificación:

Ejemplo: LS / L (M - PTAI - Tk Sed. H)

Tabla 8.Letras para identificación de instrumentos

LS	M	PTAI	Tk xxx
<p>Letras de identificación:</p> <p>Primera letra:</p> <p>L (nivel)</p> <p>P(presión o vacío)</p> <p>F(flujo o caudal)</p> <p>T(temperatura)</p> <p>W (peso o fuerza)</p> <p>Segunda Letra:</p> <p>S (interruptor /switch)</p> <p>T (transmisor)</p> <p>I (indicador)</p> <p>L (bajo)</p> <p>H(alto)</p>	<p>Proceso :</p> <p>- M (Metalurgia)</p> <p>- RJX (Rejillado, Empaste, Oxidación)</p> <p>- E (Ensamble)</p> <p>-T (Terminado)</p>	<p>Subproceso:</p> <p>- PTAI (Planta de tratamiento de aguas Industriales)</p> <p>- R (Refinación)</p> <p>- FR (Filtro Refinación)</p> <p>- H1 (Horno No 1)</p> <p>-FH1 (Filtro horno No 1)</p> <p>- H2 (Horno No 2)</p> <p>-FH2 (Filtro horno No 2)</p> <p>-T (Triturado)</p>	<p>Descripción de equipo o sistema donde esta ubicado el sensor</p> <p>Ejemplo:</p> <p>Tk (Tanque)</p> <p>Sed (sedimentador)</p> <p>H(horizontal)</p>

Tabla 9. Switch de nivel (LS)

Planta de Tratamiento de Aguas Industriales			
Instrumentación			Fecha:
Item			
1	Código		LS / H (M-PTAI-Tk Sed. H)
2	Referencia plano		WTP-S-1 Rev. 4
3	Referencia Instrumento		Ref. MAB-1 Marca SWYCON
4	Fluido		Agua ácida (H2SO4 al 6%)
5	Rango		*
6	Señal de salida (contacto/pnp/npn)		Contacto a rele
7	Tipo instrumento		Flotador (Tipo ampolleta mercurio)
8	Presión de Trabajo	psi	Atmosférica
9	Temperatura de trabajo	°C	27
10	Temperatura máxima de trabajo	°C	70
11	Alimentación	VAC	115_220
12	Material		Polipropileno
13	Conexión a proceso		*
14	Aplicación		Indicación nivel alto
15	Asignación		Tanque sedimentador horizontal
OBSERVACIONES:			

Este mismo formato aplica para todos los switch de nivel:


Código: LS / L (M - PTAI - Tk Sed. H)
Indicación nivel bajo en tanque sedimentador Horizontal

Código: LS / H (M - PTAI – Lag. Acid)
Indicación nivel alto en laguna de agua ácida

Código: LS / H (M - PTAI - Tk Lodos)
Indicación nivel alto en tanque de lodos


- Código: LS / L (M - PTAI - LS – Tk Lodos)
Indicación nivel bajo en tanque de lodos
- Código: LS / H (M - PTAI - LS – Tk N)
Indicación nivel alto en tanque de agua neutralizada y clarificada
- Código: LS / L (M - PTAI - Tk Neutr.)
Indicación nivel bajo en tanque de agua neutralizada y clarificada
- Código: LS / H (M - PTAI - Tk Filtr.)
Indicación nivel alto en tanque de agua filtrada
- Código: LS / L (M - PTAI - Tk Filtr.)
Indicación nivel bajo en tanque de agua filtrada

Tabla 10. Transmisor de Nivel (LT)

Planta de Tratamiento de Aguas Industriales			
Instrumentación			Fecha:
Item			
1	Código		LT (M-PTAI-Lag Tratada)
2	Referencia plano		WTP-S-1 Rev. 4
3	Referencia Instrumento		Modelo “The Probe” Marca SIEMENS
4	Fluido		Agua
5	Rango	mt	0.1_ 8
6	Señal de salida	mA	4_20 1 a rele
7	Tipo instrumento		Ultrasónico
8	Presión de Trabajo	psi	Atmosférica
9	Rango temperatura	°C	-40 _ 60
10	Alimentación	VDC	18 _30
11	Protección		IP 67
12	Material		PVDF
13	Conexión a proceso		2" npt
14	Aplicación		Visualización de nivel
15	Asignación		Laguna de agua tratada
OBSERVACIONES:			


Se selecciono indicación continua ya que la laguna de agua tratada es quien alimenta la red contra incendios y los sistemas de enfriamiento, de aquí la importancia de conocer cantidad real de agua almacenada.

Tabla 11. Celda de Carga (W)

Planta de Tratamiento de Aguas Industriales			
Instrumentación			Fecha:
Item			
1	Código		W (M-PTAI-Tk prep.)
2	Referencia plano		WTP-S-1 Rev. 4
3	Referencia Instrumento		Modelo 65058 TSA Marca Sensotronics
4	Fluido		*
5	Rango	Kg	< 15000
6	Señal de salida	mA	4_20
7	Tipo instrumento		Celda de carga
8	Presión de Trabajo	psi	*
9	Rango temperatura	°C	-18 _ 65
10	Alimentación	VAC	110
11	Protección		IP 67
12	Material		Acero Inoxidable
13	Conexión a proceso		*
14	Aplicación		Medición e Indicación de peso Visualización de nivel
15	Asignación		Tanque de preparación de neutralizante
OBSERVACIONES:			

El sistema de pesaje permite iniciar la preparación de neutralizante, que es cal diluida en agua, se determina un peso para el agua, cuando se alcance este peso, para la bomba la bomba de transferencia de agua tratada y se activa el sistema de dosificación de cal que consiste en tres motores, uno para una válvula rotativa, otro motor para un tronillo sinfín y un tercero para el elevador de cangilones, cuando se llegue al peso predeterminado para la mezcla se desactiva la adición de cal y se envía una señal para accionar una válvula solenoide N/C (Spring to open, air to close) ubicada a la salida del tanque neutralizante para que permita el paso a los tanques de almacenamiento de neutralizante.

Tabla 12. Peachimetro (pH)


Planta de Tratamiento de Aguas Industriales			
Instrumentación			Fecha:
Item			
1	Código		pH (M-PTAI-Tk R1.)
2	Referencia plano		WTP-S-1 Rev. 4
3	Referencia Instrumento		Modelo: 602-7-17-34P-72 (17) N/S 610-18010 Marca: IC CONTROLS
4	Fluido		*
5	Rango	pH	1 _ 14
6	Señal de salida	mA	4_20
7	Presión de Trabajo	psi	Atmosférica
8	Rango temperatura	° C	-18 _ 65
9	Alimentación	VDC	24
10	Protección		IP 65
11	Material		Carcaza Transmisor y display: polipropileno Electrodo: CPVC
12	Conexión a proceso		*
13	Aplicación		Medición e Indicación de pH para control de electroválvulas
14	Asignación		Tanque Reactor No 1
OBSERVACIONES:			

Aplica igual para peachimetro en tanque reactor No 2 y tanque de agua neutralizada y clarificada.

Código: pH (M-PTAI-Tk R2.)

pH (M-PTAI-Tk N)

Tabla 13. Transmisor de flujo (FT)


Planta de Tratamiento de Aguas Industriales			
Instrumentación		Fecha:	
Item			
1	Código		FT (M-PTAI-Lag Acid)
2	Referencia plano		WTP-S-1 Rev. 4
3	Referencia Instrumento		Modelo: 8035 Marca BURKERT
4	Fluido		Agua ácida (H2SO4 al 6%)
5	Rango	Lt/seg	0_ 15
6	Señal de salida	mA	4_20
7	Tipo instrumento		Rotámetro
8	Presión máxima	psi	120
9	Rango temperatura	°C	-10 _ 55
10	Alimentación	VAC	115_230
11	Protección		IP 65
12	Material		PVC
13	Conexión a proceso		2" Bridado
14	Aplicación		Registro cantidad Electrolito procesado
15	Asignación		Línea agua ácida de Laguna ácida a Tanque reactor No 1
OBSERVACIONES:			

12.1. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL SELECCINADOS COMPRADOS

El sistema de adición de neutralizante funciona de la siguiente manera:

- Bomba de circulación de neutralizante Activa
- Si pH en Tanque Reactor No 1 es menor a 4.5, enviar señal a la solenoide para que actúe la válvula y esta permita el paso de neutralizante, hasta que señal de pH sea mayor a 4.5.
- Si pH en Tanque Reactor No 2 es menor a 7.5, enviar señal a la solenoide para que actúe la válvula y esta permita el paso de neutralizante, hasta que señal de pH sea mayor a 7.5.

Tabla 14: Válvula electroneumatica (N/C)

Planta de Tratamiento de Aguas Industriales			
Instrumentación			Fecha:
Item			
1	Código		V (M-PTAI-Tk reactor 1)
2	Referencia plano		WTP-S-1 Rev. 4
3	Referencia		S/N - 152752 Spring 1.12x4 (Spring to close, air to Open) Marca CENTURY INSTRUMENT COMPANY
4	Fluido		Cal (30%) disuelta en agua
5	Actuador		Neumático
6	Cuerpo		Hierro
7	Tipo		Diafragma (Neopreno)
8	Presión máxima	psi	120
9	Rango temperatura	°C	-10 _ 60
10	Alimentación Actuador	VAC	115_230
11	Conexión a proceso		2" Bridado
12	Aplicación		Dosificación neutralizante
13	Asignación		Descarga de neutralizante en tanque reactor No 1
OBSERVACIONES:			

Aplica también para válvula N/C en tanque Reactor No 2 y válvulas N/A para Tanques de neutralizante.

Tabla 15: Señales de alarma en el proceso

Señal de Alarma	Tipo Sensor	Tipo Señal		Maniobra de Control
		Digital	Análoga	
Nivel Alto en Tanque Sedimentador Horizontal	Switch de Nivel	*		- Arrancar Bomba de transferencia a Tanque Sedimentador Vertical.
Nivel Bajo en Tanque Sedimentador Vertical	Switch de Nivel	*		- Parar Bomba de transferencia a Tanque Sedimentador Vertical.
Nivel Alto en Laguna de Solución Ácida	Switch de Nivel	*		- Arrancar Bomba de transferencia a Tanque Reactor No 1.
No Flujo en línea entre laguna de Agua Ácida y Tanque Reactor No 1	Transmisor de Flujo		*	- Parar Bomba de transferencia a Tanque sedimentador Vertical.
Bajo Peso en Tanque de Preparación de Neutralizante	Celdas de Carga		*	- Parar Bomba de transferencia a Tanque Reactor No 1.
pH <4.5 en Tanque Reactor No 1	Peachimetro		*	- Accionar solenoide de Válvula de Diafragma (N/C) para adicionar neutralizante en Tanque Reactor No 1.
pH >7.5 en Tanque Reactor No 1	Peachimetro		*	- Aumentar velocidad de Bomba de Transferencia a tanque Reactor No 1.
pH <7.5 en Tanque Reactor No 2	Peachimetro		*	- Accionar solenoide de Válvula de Diafragma (N/C) para adicionar neutralizante en Tanque Reactor No 2.
pH <7.5 en Tanque de Agua Neutralizada y Clarificada	Peachimetro		*	- Parar Bomba de transferencia a Tanque Reactor No 1. - Accionar solenoide de válvula de Diafragma (N/C) para adicionar Neutralizante en Tanque Reactor No 2.
Nivel Alto en Tanque de Agua Neutralizada y Clarificada	Switch de Nivel	*		- Arrancar Bomba de Transferencia a Filtro KDF.

Nivel Bajo en Tanque de Agua Neutralizada y Clarificada	Switch de Nivel	*		- Parar Bomba de Transferencia a Filtro KDF.
Nivel Alto en Tanque de Lodos	Switch de Nivel	*		- Arrancar Bomba de Transferencia a Filtro Prensa. - Parar Bomba de Transferencia a Tanque Reactor No 1.
Nivel Bajo en Tanque de Lodos	Switch de Nivel	*		- Parar Bomba de Transferencia a Filtro Prensa.
Nivel en Laguna de agua Tratada	Transmisor de Nivel (Ultrasónico)		*	- Arrancar Bomba de transferencia a Filtro Multimedia. Parar Bomba de transferencia a Filtro KDF.
Nivel Alto en Tanque de Agua Filtrada	Switch de Nivel	*		- Parar Bomba de Transferencia a Filtro Multimedia.
Nivel Bajo en Tanque de Agua Filtrada	Switch de Nivel	*		- Arrancar Bomba de Transferencia a Filtro Multimedia.

13. CONCLUSIONES

- Se conoció en detalle cada uno de los procesos del área de metalurgia analizando las características de procesos como rangos de temperaturas, de presiones, de las sustancias que se manejan, y de los equipos o sistemas que se utilizan.
- Se estudio y preselecciono los instrumentos de cada parte del proceso en la PTAI y se solicito cotización a diferentes firmas distribuidoras.
- Se presento cuadros comparativos, se discutió y se aprobó la compra de los instrumentos, haciendo previo estudio de características y/o materiales propuestos por los proveedores, teniendo en cuenta cronograma de puesta en servicio de la planta.
- Se acompañó al grupo de ingenieros del área de Proyectos y Manufactura de la planta, en el diseño y desarrollo del proyecto de ampliación y automatización del área de metalurgia particularmente en la Planta de Tratamiento de aguas Industriales, utilizando las herramientas adquiridas en la formación como profesional dadas por la universidad, reconociendo así la importancia de la mecatrónica como una carrera interdisciplinaria.
- Se coordino el trabajo de las firmas contratistas, para el desarrollo de la PTAI, entre ellas, de montaje mecánico, eléctrico, y de automatización (programación).
- Se organizo material de apoyo para el desarrollo del proyecto como planos eléctricos, rutas de tuberías de servicios (agua, aire, comunicación, fuerza), de construcción y montaje, diagramas de Flujo, listado de materiales, características de proceso, datasheets de equipos (bombas, actuadores, instrumentos, tanques entre otros).
- Se puso en funcionamiento la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales, haciendo la producción de baterías de la planta MAC S.A. ambientalmente segura, con la confiabilidad de usar equipos de ultima tecnología para el control de la misma.
- La selección de elementos para la automatización de la planta fue adecuado, reflejado esto en el normal funcionamiento de la planta.
La Automatización de la PTAI mejora considerablemente las condiciones laborales del personal operario y de supervisión.

BIBLIOGRAFÍA

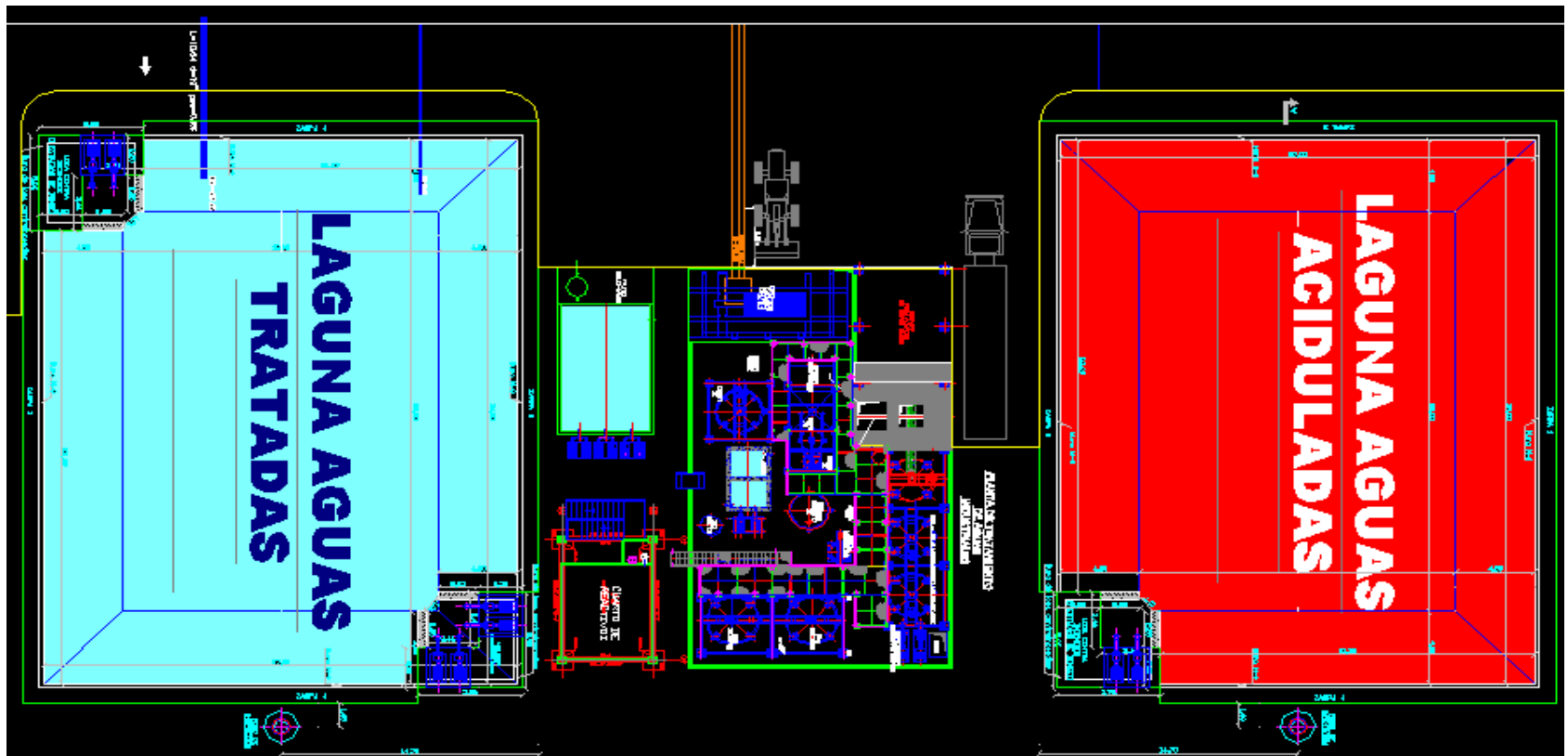
CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. Madrid: Alfaomega, 1997. 750 p.

MORENO G., Emilio. Automatización de Procesos Industriales. México D.F: Alfaomega, 2000. 377 p.

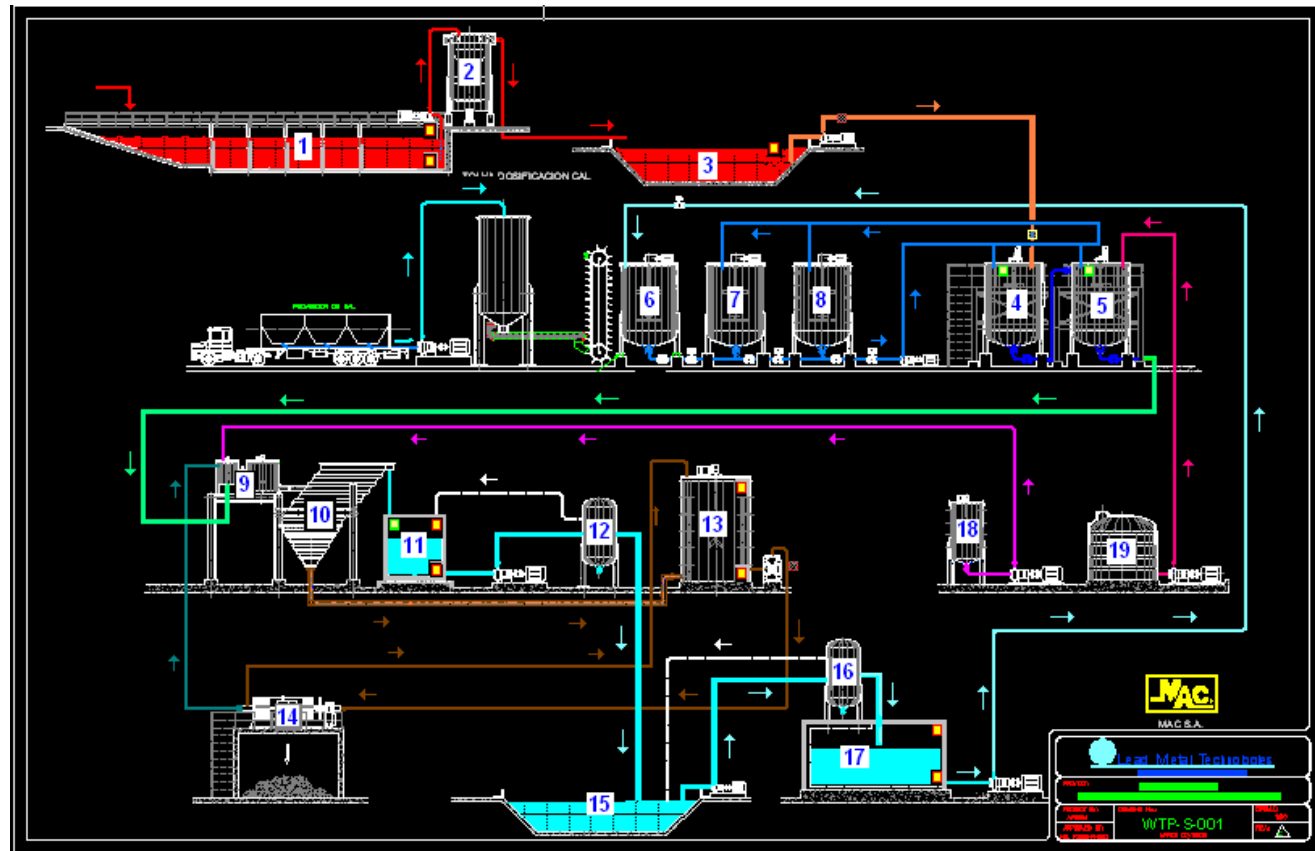
Planta Neutralización y Tratamiento de Solución Electrolítica Contaminada, MAC S.A.. Santiago de Cali, 2006. 97 p.

ANEXOS

Anexo A. layout planta de tratamiento de aguas industriales PTAI MAC S.A.



Anexo B. Diagrama de flujo planta de tratamiento de aguas industriales PTAI MAC S.A.



Anexo C. lay out metalurgia MAC S.A.

